



リンドープn型ダイヤモンド半導体の電極界面特性の解明と低抵抗化

著者	松本 翼
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2013
報告番号	12102甲第6830号
URL	http://hdl.handle.net/2241/00122335

氏名（本籍地）	松本 翼（ 熊本県 ）
学位の種類	博士（ 工学 ）
学位記番号	博 甲 第 6830 号
学位授与年月日	平成26年 3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	

リンドーブn型ダイヤモンド半導体の電極界面特性の解明と低抵抗化

主査	筑波大学教授	理学博士	山崎 聡
副査	筑波大学教授	Ph.D.	佐野 伸行
副査	筑波大学教授	工学博士	山田 啓作
副査	筑波大学名誉教授	工学博士	村上 浩一
副査	物質・材料研究機構	工学博士	小泉 聡

論 文 の 要 旨

研究の目的と意義

本研究では、高濃度 P ドープ n 型ダイヤモンド薄膜の電子輸送機構を明確にするため、導電率の測定およびホール効果測定を行った。さらに、金属/高濃度 P ドープ n 型ダイヤモンド薄膜界面の電子輸送機構を明確にし、金属/n 型ダイヤモンド薄膜界面の接触抵抗を低減するため、N イオン注入および数値計算による深い不純物・欠陥準位の制御とグラファイト/n 型ダイヤモンド薄膜界面によるショットキー障壁高さの制御を行った。

ダイヤモンド電子デバイス応用において、n 型ダイヤモンド薄膜や電極との界面における電子輸送および n 型オーミックコンタクトの実現に関する課題は、最重要課題に位置付けられており、本研究の実験や数値計算により、n 型ダイヤモンドにおける課題解決の道筋を立てることは重要な一歩である。

本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第 2 章では、試料作製から評価方法まで、本研究で使用したプロセスである、洗浄方法、マイクロ波プラズマ CVD による合成方法、SIMS による不純物深さ分布の測定方法、電極形成方法、接触抵抗を解析する輸送長 (transfer length method: TLM) 法についての詳細を述べる。

第 3 章では、P ドープ n 型ダイヤモンド薄膜の導電率を測定し、その電子輸送機構を明らかにする。

第 4 章では、金属/n 型ダイヤモンド薄膜/金属構造の I - V 特性を測定し、金属/n 型ダイヤモンド薄膜界面の電子輸送機構を数値計算から予測、検証する。

第 5 章では、金属/n 型ダイヤモンド薄膜界面の接触抵抗を測定し、その P 濃度や電圧依存を詳しく

解析する。また、グラファイト電極やNイオン注入を用いることで、金属/n⁺型ダイヤモンド薄膜界面の低い接触抵抗を実現し、その効果を議論することで、第4章で予想した電子輸送機構を実験的に説明する。

第6章では、ホッピング伝導を示すn⁺層、および、より低い接触抵抗を実現するグラファイト電極を用いて、p-i-n⁺ダイオードを作製し、I-V特性を測定する。また、従来のp-i-n⁺ダイオードとの特性を比較する。

第7章では、本研究で得られた結果をまとめ、本論文の結論とする。

結果のまとめ

本論文では、シリコン(silicon: Si)や炭化ケイ素(silicon carbide: SiC)、窒化ガリウム(gallium nitride: GaN)を大きく凌駕するパワーデバイス材料や、ユニークな特性を生かした新しい機能を持った電子デバイス材料として期待されているダイヤモンド半導体デバイス応用において、重要な課題である「n型ダイヤモンド薄膜およびn型ダイヤモンド薄膜/金属界面における電子輸送機構の解明」および「n型ダイヤモンド薄膜における接触抵抗の低減」の解決を目的とした。具体的には、①高濃度リン(phosphorus: P)ドープn型(n⁺型)ダイヤモンド薄膜における電子輸送の解明、②n⁺型ダイヤモンド薄膜の導電率におけるP濃度および温度依存の明確化、③n型ダイヤモンド薄膜/金属界面における電子輸送機構の解明、④n型ダイヤモンド薄膜/金属界面における接触抵抗の低減およびダイヤモンド電子デバイスでの実証、を実施した。

本研究において、得られた重要な成果は、①n⁺型ダイヤモンド薄膜における電子輸送機構が低濃度ドープSiやゲルマニウム(germanium: Ge)において極低温で報告されている最近接ホッピング伝導で説明できること、②n⁺型ダイヤモンド薄膜で観測される最近接ホッピング伝導の活性化エネルギーがおよそ40 meVとSiやGeで観測される活性化エネルギーよりも一桁大きいこと、③n⁺型ダイヤモンド薄膜における最近接ホッピング伝導は、室温でバルク抵抗よりも低抵抗を示すため、ダイヤモンド電子デバイスにとって非常に有効であること、④n型ダイヤモンド薄膜/金属界面の電子輸送機構は金属のフェルミ準位とn型ダイヤモンド薄膜のホッピング準位(ドナー準位)間のトンネルが支配的であること、⑤n型ダイヤモンド薄膜/金属界面の電子輸送機構には、深い不純物・欠陥準位も大きく影響していること、⑥オーミック特性ではないダブルショットキー界面を持つ伝送長法(transfer length method: TLM)パターンにおける電流一定条件をともなうTLM解析方法の提案、⑦窒素(nitrogen: N)イオン注入を用いることでn型ダイヤモンド薄膜/金属界面の接触抵抗を一桁弱低減できること、⑧グラファイト電極を用いることでn型ダイヤモンド薄膜/金属界面の接触抵抗を一桁以上低減でき、p-i-n⁺ダイオードでは5V以上の電圧低減が可能であること、である。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

平成26年2月14日に公聴会を行った。

公聴会では本論文の内容に沿って、研究業績の説明がなされた。

得られた成果は、次世代のパワーデバイスなど新しい電子デバイスとして期待される、ダイヤモンド電子デバイスのパフォーマンスにとって、重要な開発要素である金属との接触抵抗の理解と、低抵抗化を実現したものである。独創性もあり学会・社会における貢献は大きい。

質疑応答では、主査副査より多くの質問やコメントが寄せられた。著者はそれらに対し適切に応答し、また、コメントに対しては今後の研究の発展という観点からの議論を行うことができた。

以上のことから本論文著者は博士号を与えるに足る能力があると考えられる。

〔最終試験結果〕

平成 26 年 2 月 14 日、数理物質科学研究科学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。